平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「銅製 EV 急速充電用コネクタ端子における 冷間鍛造による加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人茨城県中小企業振興公社

目 次

目次•		1
第1章	研究開発の概要	
1 - 1	1 研究開発の背景・研究目的及び目標・・・・・・・・・・・・・	2
1 —	2 研究体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5
1 —	3 成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
1 —	4 当該研究の連絡窓口 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
第2章	本論:研究開発の実施内容と成果 (i):スリット形成鍛造装置開発	
2 —		-
	2 鍛造装置の搬入・据付・・・・・・・・・・・・・・・・1	
2 —	3 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1	.1
第3章	本論:研究開発の実施内容と成果 (ii):	
	多段自動冷間鍛造によるスリット前ブランクの加工技術の開発	
3 —	1 せん断スリット前ブランクの開発・・・・・・・・・1	.1
3 —	2 押し出しスリット前ブランクの開発・・・・・・・・・・1	2
第4章	本論:研究開発の実施内容と成果(iii):	
	スリット形成のための冷間鍛造技術の開発	
4 -	1 せん断スリット工法の開発・・・・・・・・・・・・・1	3
4 —	2 押し出しスリット工法の開発・・・・・・・・・・・・・1	6
4 —	3 加工品の品質評価法の開発・・・・・・・・・・・・・・1	7
第5章	本論:研究開発の実施内容と成果 (iv):量産化技術の開発	
5 —	1 量産システムの開発・・・・・・・・・・・・・・・2	1
5 —	2 量産システムの評価・・・・・・・・・・・・・・・2	3
第6章	全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2	4

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

【1】研究開発の背景

世界各国で排ガス規制などが取り組まれ、環境意識が高まる中、次世代自動車として電気自動車(EV/PHV)の普及が期待されている。さらには、甚大な被害をもたらした東日本大震災以降の次世代自動車への関心・意識は高まり、約70%にも達している。(図1-1)

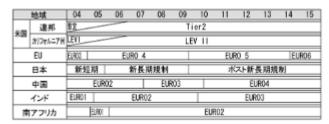




図1-1:各国のガソリン乗用車の排出ガス規制の推移と次世代自動車への関心¹

環境負荷低減の時流の中、日産リーフ(EV)、トヨタプラグインハイブリッドプリウス (PHV) などをはじめとした、日系カーメーカーによるEV車の生産台数は、2010年の1万300台から10年後には170万5000台と約160倍に拡大することが予想されている。現在、こうしたEV普及のための充電設備などのインフラ整備が強く求められている。特に、車載側にもスタンド側にも必要な充電コネクタの量産体制の構築は急務を要する。一方、欧米では充電コネクタの新規格提唱の動きがある。日本がEVの普及において国際競争に勝つためには、日本製規格(CHAdeMO)と欧米規格のいずれの規格においても対応可能な充電コネクタの量産体制の構築が重要とされ、カーメーカーやコネクタメーカーなどの川下企業の抱える一番の課題となっている。

現在の充電コネクタ製造は、部品形状の複雑さから切削加工に頼らざるを得ず、量産化の課題が多い。日産リーフに使用されている充電コネクタは、全工程を切削加工しているため、「加工時間が 300 秒/個と長く、材料歩留率 (材料利用率) が 22%と低い」という課題があり、生産コストと製造サイクルタイムを増大させ、量産化の障害となっている。

本研究開発では、高い材料歩留率と、サイクルタイムの大幅短縮を可能とする冷間鍛造技術を開発する。この技術開発により、充電コネクタ量産のための低コスト化と短納期化を図り、川下企業の抱える課題を解決する。尚、開発技術はEVに限らず、スマートグリッド関連技術などにも応用可能であり、川下分野横断的な技術である。

^{1 (}参考文献): 『排出ガス・燃費関連法規制動向』、DENSO、2007年2月15日発行

【2】研究の概要

本研究開発での対象部品は、EVの普及に不可欠な充電コネクタ (CHAdeMO 規格)であり、EVの急速充電端子に接続されて使用される。

本研究開発は銅材の冷間鍛造に関するものであり、従来切削加工で製造されていた充電 コネクタを冷間鍛造で製造する新しい技術を開発する。それぞれの製造工程の比較を図1-2に示す。

冷間鍛造は銅コイル材から最終製品までに二つの大きな工程群からなる。中間部品のスリット前ブランクまでとスリット前ブランクから最終製品までである。前者は、パーツフォーマーを用いることで自動化、連続化、迅速化を図る。後者では、スリット前ブランクにスリットを形成し最終製品まで導く。ここでの工程群を自動加工するための冷間鍛造装置と加工技術を開発し、目標を達成する。

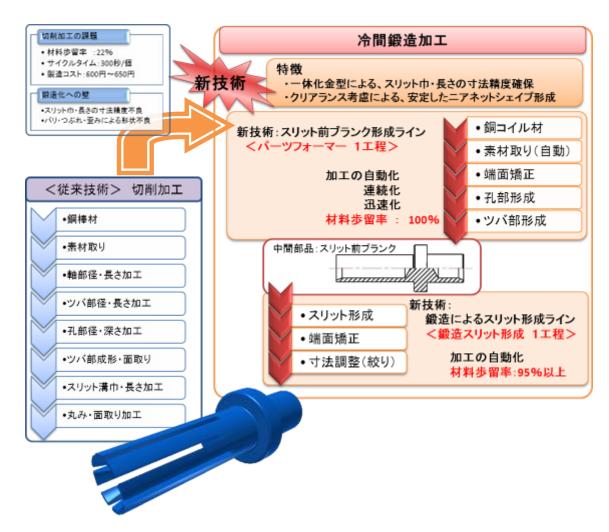


図1-2:本研究開発の工程と従来工程との比較

【3】研究の目的と目標

本研究開発の目的は、EV急速充電用コネクタ端子の冷間鍛造加工技術の開発である。 現在、充電コネクタは、全工程を切削加工により製造しているため、加工時間が長く材料 歩留率が 22%となっている。このため、生産コストと製造サイクルタイムが増大し、量産 化の障害となっている。そこで、冷間鍛造技術を高度化させ、充電コネクタを冷間鍛造で 製造するための銅材を用いた高精度ニアネットシェイプ加工技術を開発し、充電コネクタ の量産を目指す。

研究の目標として、銅コイル材からパーツフォーマーを用いたスリット前ブランクの連続加工技術の開発、スリット前ブランクから最終製品形状まで自動化・連続・迅速に加工するためのスリット形成用鍛造装置を開発する。

スリット形成用金型を開発し、開発した鍛造装置に組み込み加工した製品形状の評価のための自動測定装置の開発、パーツフォーマー加工と迅速スリット形成技術を組み合わせた量産化技術の開発を行い、連続生産個数:1,000個以上、材料歩留率(材料利用率):95%以上、サイクルタイム:10秒以内/個、コスト削減率:60%以上、品質保証(寸法精度):Cpk>1.33の生産能力を目標とする。

戦略的基盤技術高度化支援事業における位置づけ。特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応。

- (八) 鍛造に係る技術に関する事項
- 1 鍛造に係る技術において達成すべき高度化目標
- (1)川下分野横断的な共通事項
 - ① 川下製造業者等の抱える課題及びニーズ
 - ウ. 短納期化
 - エ. 低コスト化
 - ② 高度化目標
 - ア. ニアネットシェイプ、複合一体化、組織微細化コントロール技術の開発
 - ク. 量産品質の確保及び、安定した供給体制を確立するための生産技術の構築

本研究開発では、銅材を用いた高精度ニアネットシェイプ加工を高度化させ、高い材料 歩留率とサイクルタイムの大幅短縮を可能とする冷間鍛造技術を開発し、安定品質で需要 変動に対応できるフレキシブルな量産供給体制を確立する。この技術開発により、充電コネクタの量産のための短納期化と低コスト化が可能となり、川下企業の抱える課題を解決できる。さらに、開発技術はEVに限らず、スマートグリッド関連技術などにも応用可能であり、川下分野横断的な技術である。

1-2 研究体制

【1】組織·管理体制(全体)

本研究開発における組織・管理体制を図1-3に示す。

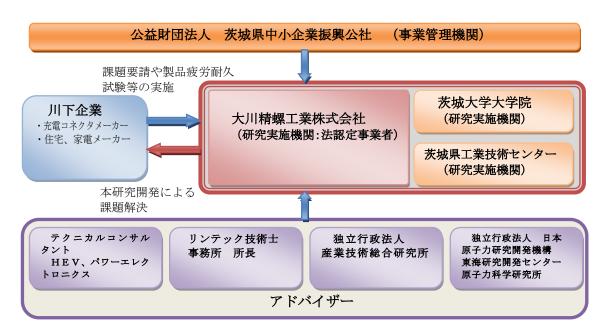


図1-3:研究開発組織・管理体制

【2】研究員及びその他協力者

本研究開発における事業管理機関の氏名を表1-1に示す。

表1-1:本研究開発の事業管理機関の氏名

氏名	所属・役職
反町 昭三	公益財団法人茨城県中小企業振興公社 新事業支援課 課長
近藤 晴彦	公益財団法人茨城県中小企業振興公社 新事業支援課 課長代理
矢口 弘貴	公益財団法人茨城県中小企業振興公社 新事業支援課 主事
宇都木 勲	公益財団法人茨城県中小企業振興公社 新事業支援課
	よろず支援拠点 サブコーディネーター
村田 宏	公益財団法人茨城県中小企業振興公社 新事業支援課
	総括テクノエキスパート
佐怒賀 憲一	公益財団法人茨城県中小企業振興公社 新事業支援課 管理員

【3】研究員及びその他協力者

本研究開発における研究者及び協力者氏名を表1-2に示す。

表1-2:本研究開発の研究者及び協力者氏名

氏名	所属・役職	備考
鈴木 正志	大川精螺工業株式会社 取締役 技術部長	PL
吉田 佳史	大川精螺工業株式会社 技術開発部 技術開発係主任	SL
大川 克良	大川精螺工業株式会社 代表取締役社長	
櫻庭 吉治	大川精螺工業株式会社 技術担当顧問	
斉藤 満	大川精螺工業株式会社 技術開発部長	
冨山 一希	大川精螺工業株式会社 技術開発部 技術開発係長	
大高 雄司	大川精螺工業株式会社 技術開発部 技術開発係員	
佐藤 文彦	大川精螺工業株式会社 営業開発部長	
鯉渕 静男	大川精螺工業株式会社 品質保証部長	
西野 創一郎	国立大学法人茨城大学 大学院理工学研究科 准教授	
齋藤 和哉	茨城県工業技術センター 先端材料部門・部門長	
上田 聖	茨城県工業技術センター 先端材料部門・技師	
岸野 裕理	茨城県工業技術センター 先端材料部門・技師	
内藤 祥太郎	テクニカルコンサルタント	アドバイザー
	HEV、パワーエレクトロニクス	
鹿野 英男	リンテック技術士事務所 所長	アドバイザー
中野禅	独立行政法人産業技術総合研究所 先端製造プロセス部門	アドバイザー
	難加工材成形研究グループ 主任研究員	
岸 敦夫	独立行政法人日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター	アドバイザー
	原子力科学研究所 研究炉加速器管理部 研究炉利用課	

1-3 成果概要

1-3-1 スリット形成鍛造装置の開発

スリット形成を可能とするために必要能力を有する鍛造装置を開発・導入した。研究開発においては、鍛造装置の主加圧力 160ton、ボルスタ寸法巾 1800mm×760mm、ストローク長さ 200mm、ダイハイト 450mm等のプレス機そのものの能力だけでなく、金型の段取り作業時におけるQDC (クイックダイチェンジ)装置の有効性、各タイミング調整時の手動パルス、量産化技術の開発時におけるスクラップシュートや排出装置の可動タイミングやモーション機能、押し出しスリット形成における、4段階・9段階での多段階押しモーションの設計など、付帯装置を加味した特注仕様が効果的であることが確認できた。

1-3-2 多段自動冷間鍛造によるスリット前ブランクの加工技術の開発

【1】せん断スリット前ブランクの開発

体積計算により、母材線径選定と切断長さを決め、工程レイアウトと加工設備を検討し、 銅コイル材からせん断スリット前ブランクまでの連続加工が可能な工程を設計し、設計し た工程で加工するための金型を開発した。金型設計には、母材の引張り試験より得られた 材料特性を活用し、鍛造シミュレーションを用いた。設計開発した金型をパーツフォーマーに組み込み、せん断スリット前ブランクの加工を行った。加工したせん断スリット前ブランクは各寸法ともに工程能力を確保しており、良好な結果が得られた。

【2】押し出しスリット前ブランクの開発

体積計算により、母材線径選定と切断長さを決め、工程レイアウトと加工設備を検討し、 銅コイル材から押し出しスリット前ブランクまでの連続加工が可能な工程を設計し、設計 した工程で加工するための金型を開発した。金型の設計には、鍛造シミュレーションやせ ん断スリット前ブランクを参考にし、高精度ニアネットシェイプ成型可能な複合金型を開 発した。設計開発した金型をパーツフォーマーに組み込み、押し出しスリット前ブランク の加工を行った。開発した押し出しスリット前ブランクは各寸法ともに工程能力を確保し ており、良好な結果が得られた。

1-3-3 スリット形成のための冷間鍛造技術の開発

【1】せん断スリット工法の開発

冷間鍛造によるせん断スリット工法のための金型を設計開発した。設計した工程レイアウトに基づき、スリットの巾・長さ等の製品形状が最適となるよう、トライ用試作金型の設計開発を行った。また、スリット片の除去方法に関してもトライ用試作金型での検討結果を反映し、量産対応金型の設計を行った。設計開発した量産対応金型を鍛造装置に組み込み、せん断スリット工法にて充電コネクタの加工法を開発した。加工品のスリット巾・

長さ等の絶対値と公差を測定し、スリットの長さのバラつきや歪み等の形状不良がないよ う加工条件を最適化した。

【2】押し出しスリット工法の開発

冷間鍛造による押し出しスリット工法の加工工程の検討を行い、スリット形成金型の設計開発を行った。また、スリット形成パンチにおいては、トライ結果を反映し、複数回の設計開発を行い、8本のスリット長さのバラつき等の寸法精度の最適化を目指した。設計開発した金型を鍛造装置に組み込み、押し出しスリット工法にてスリット形成技術の開発を行った。ダイハイトや加工スピード、モーションを変え、スリット長さのバラつき等の寸法精度の最適化を目指した。トライ結果をスリット形成パンチの設計にフィードバックし、トライ&エラーを繰り返すことで、スリット形成パンチ形状の最適化の検討も行った。

【3】冷間鍛造による加工品の品質評価法の開発

各スリット工法により加工した充電コネクタの内部硬度分布及び、ファイバーフローの確認を行った。また、開発品が実使用された場合を想定し、応力解析、残留応力測定、耐久挿抜試験、機械的・電気的特性評価試験など、従来品との比較試験を行った結果、同条件でも従来品に比べ温度上昇値が少ないなど、良好な結果が得られた。

1-3-4 量産化技術の開発

せん断スリット工法によるスリット形成を自動で行えるよう、搬送装置、排出装置及び、自動検査装置、検査付帯装置の開発を行った。開発にあたっては、せん断スリット加工レイアウトの検討結果を考慮し、鍛造装置と電気的対応、シンクロナイズ、各装置同士の干渉を考慮し、鍛造装置と組み合わせ、冷間鍛造によるスリット形成を連続して製造可能な量産システムの開発を行った。開発した量産システムで加工した充電コネクタは、材料歩留率(材料利用率): 95%、サイクルタイム: 9.6秒/個と研究開発目標を達成出来た。

1-4 当該研究開発の窓口

当該研究開発の事業管理者

名称:公益財団法人 茨城県中小企業振興公社

住所:茨城県水戸市桜川町2-2-35

代表者役職・氏名:理事長 楠田 幹人

連絡担当者所属役職・氏名:新事業支援課 課長代理 近藤 晴彦

TEL: 029-224-5339 FAX: 029-227-2586

E-m a i l: h-kondo@iis-net.or.jp

第2章 本論:研究開発の実施内容と成果 (i):スリット形成鍛造装の開発

実施者:大川精螺工業株式会社

スリット前ブランクから最終製品形状まで自動化、連続、迅速加工を達成するために、 スリット形成を可能とする鍛造装置の特殊仕様を決定し導入した。

2-1 鍛造装置の仕様確定

鍛造装置の開発の為、各方向からの仕様検討を行い、仕様確定を行った。

【1】各スリット工法レイアウトからの検討

スリット前ブランクに各スリット工法を用いて、完成製品である充電コネクタへと導くための金型構想案を検討した。検討した金型構想案を可能とするためには、ボルスタ寸法巾 1575mm×630mm以上、ダイハイト 450mm、ストローク 190mm以上を有する必要がある、という検討結果となった。

【2】各スリット工法に必要な圧造力からの検討

鍛造装置の必要主加圧力を検討するため、各スリット工法の圧造力を検討した。検討にあたっては、ダイクッションを使用しての加工後のワークの蹴り出し、また各工程の偏芯荷重を防ぐため、圧造荷重をある程度一定になるよう検討した。各スリット工法の圧造力を検討した結果、押し出しスリット工法の圧造力の方が大きかった。1つの鍛造装置を用いて各スリット工法の研究開発を行うためには、押し出しスリット工法の圧造力以上が必要であるため、主加圧力123.77ton以上を必要とする検討結果となった。

【3】搬送装置からの検討

自動化可能な搬送装置でワークを次工程に搬送するにあたり、搬送方法の検討を行った。 充電コネクタはソケット形状でワーク上面にフラット部がない、また、プレス機のサイク ルタイムに連動して搬送する事を考えると、チャック方式での搬送が最適と判断した。鍛 造装置に搬送装置を組み込んで使用するためには、鍛造装置と搬送装置の電気的な対応が 求められる。さらに、せん断スリット工法においてはスリット片が発生するため、スクラ ップの排出も考慮しなければならない。これらの条件を加味すると、モーション制御が可 能なサーボプレス機を用いることで、スリット形成と搬送の自由度を大幅に向上させるこ とが、研究開発の促進につながると判断した。

【4】独自トライからのフィードバック

鍛造装置の仕様確定にあたって、独自トライ加工の結果から得られた事も反映した。 以下に検討結果を記載する。

- ①研究開発を効果的に進めるために、トラブル発生時の計測等、各種データを数値と 波形で表示できる装置が必要。
- ②モーション機構があるサーボプレス機を使用し、加工速度の変化による加工性・スリット形成性の変化を検証する。
- ③金型の取り付け・取り外し(段取り作業)を効率的に行うためのQDC装置が必要。 また、ボルスタには、金型の位置決め用ノックピン、金型を固定・取り外しするためのT 進特殊位置なども求められる。
- ④ワークを次工程へとスムーズに搬送するために、加工後のワークの蹴り出し機構が必要。ボルスターのクッション孔は特別位置での加工を要す。
- ⑤スリット加工前後のワークの整列・供給装置への電気的な対応が必要。

プレス機そのものの性能もさることながら、付帯装置を加味した特注仕様が求められる 結果となった。

検討結果より、鍛造装置のベースとなるプレス機に必要な能力検討の結果、条件を満たすプレス機は「DSF-N2-1600/アイダエンジニアリング」が最適と判断する。

2-2 鍛造装置の搬入・据え付け

プレス機を据え付ける基礎の状態によっては、傾斜・沈下等が生じ、加工精度や金型寿命に悪影響を及ぼす。今回のプレス機は加圧能力 160 ton、総質量約 21 ton、動的荷重 68.25 k N/m^2 と大きい為、設置予定位置の基礎地盤の調査を行った。口径 160 mmのコアドリリングを行い、約 150 mmのコンクリート基礎の下の地盤の状態を確認したところ砂岩層で地耐力は 300 k N/m^2 あり、プレス機を据え付けても問題ない事が確認できた。

またプレス機の外観図と防振装置の取り付け図を基に、コアドリリングを行った床面に プレス機の位置決めを行った。

設置位置・設置の平行度の確認後、防振装置をアンカーボルトにて固定し搬入作業を終了した。搬入作業終了後、エア・電気の接続、油入れ・付帯装置の取り付けが行われ、空運転による各摺動部等の温度変化・各種動作確認が行われた。(図2-1)







図2-1:プレス機搬入及び各種調整及び動作確認の様子

搬入・据え付け及び動作確認後、プレス機のボルスタ上面とスライド下面との平行度・

直角度及び総合すきまの精度確認を行った。いずれも許容数値以下であり、問題ないと判断した。

2-3 まとめ

鍛造装置の設計開発を行い、各要求仕様を満足するサーボプレス機の導入が出来た。鍛造装置はスリット形成のための要であり、プレス機の精度はスリット形成に大きく作用すると考えられる。導入したサーボプレス機が要求仕様を満足し加工精度も良好であった事から、研究開発の推進に大いに貢献すると考えられる。鍛造装置は、スリット形成の自動化、迅速化、連続化を図り、量産システム開発の主要装置としての機能も有するため、スリット形成を行うための冷間鍛造工程設計の結果、搬送装置の設計結果も考慮し、仕様を決定した。結果として、主加圧力 160ton、ボルスタ寸法巾 1800mm×760mm、ストローク長さ 200mm、ダイハイト 450mmの能力を持つ鍛造装置を導入した。

第3章 本論:研究開発の実施内容と成果(ii):

多段自動冷間鍛造によるスリット前ブランクの加工技術の開発

実施者:大川精螺工業株式会社・茨城大学大学院・茨城県工業技術センター

3-1 せん断スリット前ブランクの開発

【1】金型の設計開発

せん断スリット前ブランクを加工するための工程レイアウトを検討・設計した。金型の 設計にあたっては、母材の引張り試験を行い、得られた結果を反映した鍛造シミュレーションを効果的に用い、金型設計の工数低減を図った。

【2】段取り作業

開発した各金型の検収作業を行い、設計した組図を基に金型の組み上げ、パーツフォーマーのダイブロックにセット。本研究開発に使用したパーツフォーマーは機械圧造部よりダイブロックを取り外しての外段取り作業が可能なため、金型のダイブロックへのセットが迅速に行える。各金型をセットしたダイブロックをパーツフォーマーの圧造部にセットした。それぞれ、図3-1に示す。







図3-1:金型検収と段取りの様子

【3】寸法調整

せん断スリット前ブランクを最適寸法となるよう、各工程の押し具合、金型の待機位置等の調整を行った。各工程での形成が前後の工程に影響を及ぼし合っており、前後のバランスを考慮しつつ、最終的に最適寸法となるよう、調整を行った。図3-2に開発したせん断スリット前ブランクを示す。各寸法箇所ともに安定しており、せん断スリット前ブランクの加工においては、目標を達成する開発が行えた。



図3-2:開発したせん断スリット前ブランク

3-2 押し出しスリット前ブランクの開発

【1】金型の設計開発

押し出しスリット前ブランクを加工するための工程レイアウトを検討した。検討にあたっては、鍛造シミュレーションを効果的に活用し、加工率・圧造荷重に留意し各金型の詳細を決定、金型の設計を行った。詳細検討はそれぞれ用途に分け、材質、寸法精度、コーティングの有無の検討を行った。

【2】寸法調整

各金型の検収作業を行い、組み上げた各金型をセットしたダイブロックをパーツフォーマーの圧造部にセット。押し出しスリット前ブランクを最適寸法となるよう、各工程の押し具合、金型の待機位置等の調整を行った。各工程での形成が前後の工程に影響を及ぼし合っているため、前後のバランスを考慮し、最終的に最適寸法となるよう、調整を行った。図3-3に開発した押し出しスリット前ブランクを示す。各寸法箇所ともに安定しており、押し出しスリット前ブランクの加工においては、目標を達成する開発が行えた。



図3-3:開発した押し出しスリット前ブランク

第4章 本論:研究開発の実施内容と成果(iii): スリット形成のための冷間鍛造技術の開発

実施者:大川精螺工業株式会社・茨城大学大学院・茨城県工業技術センター

4-1 せん断スリット工法の開発

【1】基礎実験

簡易金型を製作し基礎実験を行い、せん断スリット工法用金型の設計開発に反映した。 併せて、スリット片除去方法の検討を行った。良好なスリット片除去を行うよう、間に抑え金型を入れスリット成形。マクレの発生もなくスリット片の除去が行えた。この時、スリット片除去に必要な荷重は約7tonであり、鍛造装置のダイクッション機能を活用すれば十分可能であることが確認できた。

【2】工程レイアウトの検討

これまでの各基礎実験を基に、せん断スリット加工工程の検討を行った。基礎実験より、せん断スリット加工後のスリット片は、抑え金型からの蹴り出しと同時に除去できることがわかった。製品形状や工程間クリアランス等を考慮し詳細検討を行った。また、スリット片の処理方法についても考慮した。

【3】トライ用試作金型の設計開発

検討したせん断スリット工法の加工工程における金型の設計開発を行った。特に開発のポイントとなるスリット形成工程においては、除去したスリット片の処理方法などの課題を効果的に解決するため、トライ用試作金型の設計を行った。

開発したトライ用試作金型を鍛造装置に組み込み、せん断スリット成型のトライ実験を行った。金型を使用してのトライと修正を繰り返し、量産対応金型の設計に反映した。段取りとトライの様子を図4-1に示す。







図4-1:トライ用試作金型の段取りとトライの様子

【4】 スリット形成パンチの詳細観察

トライ用試作金型での研究結果をフィードバックし、量産対応金型の設計開発を行った。より安定したスリットを形成するため、走査型電子顕微鏡(SEM)とエネルギー分散型 X 線分光装置(EDX)を用い、トライ用試作金型のスリット成型パンチの詳細観察を行った。50倍 SEM 写真と EDX による元素分析結果を図4-2に示す。使用後のパンチ摺動部において、摩耗(平坦部)が認められた。

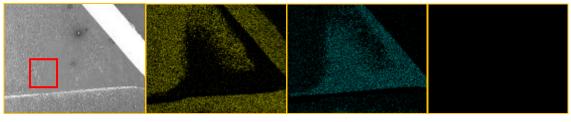


図4-2:観察箇所①の観察と元素分析結果

↑ SEM 観察 (50倍) ↑ Ti 検出

↑Fe 検出 ↑Cu 検出なし

さらには皮膜健全部分と摩耗部分の境界(図4-2の赤枠部)の詳細観察結果を図4-3に示す。左側の健全部分において、皮膜表面の粗さが大きい。この健全部分の拡大観察及び元素分析結果より、摺動によって部分的に皮膜が脱落していることが確認できる。このような皮膜表面の粗さは、摩擦係数の上昇を誘発し、皮膜と金型基材との密着性低下や皮膜の耐摩耗性低下の原因となる。

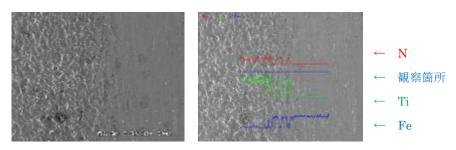


図3-2-14:観察箇所①の健全部分と摩耗部分(1000倍)

これらの観察結果から、コーティング前後のラッピング(研磨)処理と段差形状におけ

るR取り、二ゲ角度の改善を反映し、量産対応金型のスリット成型パンチの設計を行った。

【5】 量産対応金型の設計開発

設計したレイアウトにて、せん断スリット工法による量産対応金型の設計開発を行った。 トライ用試作金型での改善点を反映するだけでなく、搬送装置対応のためダイハイトやパスラインを考慮した。

【6】せん断スリット工法の加工技術の開発

量産対応金型を鍛造装置に組み込み、せん段スリット工法による加工技術の開発を行った。先ずはスクラップシュートを外し、スリット長さが寸法公差内となるよう、ダイハイトの調整を行った。次に、せん断スリット加工後のスリット片を良好に除去するため、スクラップシュートの調整を行った。スクラップシュートの可動は、鍛造装置のモーション機能を使用。スクラップシュートとスリット片との距離に留意しながら、スクラップシュートの可動タイミングの調整を行った。段取りから調整の様子を図4-4に示す。







図4-4:量産対応金型での調整の様子

【7】せん断スリット工法のまとめ

開発したせん断スリット工法による充電コネクタを図4-5に示す。各寸法とも安定しており、良好なせん断スリット工法の開発が行えた。これまでの基礎実験やトライ用試作金型での検討など、研究結果を積み重ねることで充電コネクタの開発に至った。



図4-5:開発した充電コネクタと各工程ワーク

4-2 押し出しスリット工法の開発

【1】金型の設計開発

冷間鍛造による押し出しスリット工法用金型の設計を行うにあたり、スリット形成金型の構造基礎実験を行ったところ、スリットを形成することが出来た。基礎実験結果を元に、スリット形成パンチとサポート金型による押し出しスリット工法用金型の設計を行った。特に開発のポイントとなるスリット形成工程を主とし開発を進め、一部の金型には、せん断スリット工法トライ用試作金型を改造することで費用の圧縮を図った。流用可否の検討結果を元に押し出しスリット工法用金型の設計を行った。一部改造することで流用可能となる金型については、事前に金型メーカーと打ち合わせを行い、追加工方法やその他の方法についての検討も併せて行った。

【2】押し出しスリット形成技術の開発

開発した押し出しスリット工法用金型を鍛造装置に組み込み、押し出しスリット工法による、スリット形成技術の開発を行った。加工前ブランクには、押し出しスリット前ブランクを使用した。図4-6に示すよう、押し出しスリット工法においても、スリットを形成することは出来た。しかし、せん断スリット工法と比べ、スリット長さのバラつきが大きいという課題が発生した。







図4-6:押し出しスリット前ブランクと押し出しスリット形成後

【3】 スリット長さの最適化に向けた取り組み

より安定的な押し出しスリット形成技術の開発を目指した研究を行った。スリット長さのさらなる安定のため、スリット形成パンチ形状の再検討を行い、スリット長さのバラつき、成形荷重の変化を確認した。パンチの変更と併せ、スピードやモーションの変更を行い、スリット形成条件を変え、最適な加工条件の検討も行った。 4 段階・9 段階に分け少しずつスライドを下げ、スリット形成を行ったところ、僅かではあるが、クランク→4 段階押し→9 段階押しと、スリット長さのバラつきが安定する傾向にあった。それぞれ、モーション以外を同条件でのスリット形成の様子を図 4-7 に示す。







↑クランクモーション

↑4段階押し

↑9段階押し

図4-7:同条件でのモーション違いによる、スリット形成結果の比較

【4】押し出しスリット工法のまとめ

これまでのトライ結果を基に、スリット形成パンチの形状再検討を行い、成形モーションを変え、押し出しスリット形成技術の開発を行った結果、複数回に分け、スリットを形成した方が、スリット長さが安定している傾向にあることがわかった。

4-3 加工品の品質評価法の開発

各スリット工法を用い、冷間鍛造により加工した充電コネクタの内部硬度分布及びファイバーフローの確認を行った。また、開発品が実使用された場合を考慮し、応力解析、残留応力測定、耐久挿抜試験、機械的・電気的特性評価試験など、従来品と比較した品質評価試験を行った。

【1】オス端子挿入時のコネクタ応力分布解析

開発品が実使用において破壊や変形があるか否かを検討するため、オス端子を挿入した際の応力解析を行った。コネクタの材料物性は、引張試験の結果からヤング率 110GPa とし、ポアソン比は 0.3 とした。オス端子は φ 9.0mm、材料物性は剛体と仮定した。

コネクタのツバ側端面を固定し、オス端子をコネクタのスリット側端面から 34mm まで移動させ、コネクタに発生する応力を解析した。その際、コネクタとオス端子間の摩擦は無視した。しかし、図面を基にしたモデリングでは角部に解析上不可避の応力の集中が発生することがわかった。これを回避するため、角に微小のフィレットを形成することとした。微小フィレットの大きさは、RO. 1mm または RO. 2mm とした。

コネクタに発生する応力を定性的に評価するために、ミーゼスの相当応力値にて評価することとした。(図4-8)微小フィレット RO. 1mm では最大応力値 182MPa が微小フィレットの角部に見られた。同時に微小フィレット RO. 2mm においても、最大応力値 153MPa が微小フィレットの角部に見られた。

また、コネクタのスリット側の脚の中央部に注目したところ、コネクタの脚に発生する 応力は微小フィレットの大きさによらず、ほぼ同じ値となっており、その最大値は 93MPa であり、スリットの根元付近に発生していることがわかった。

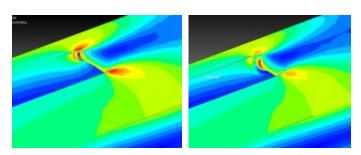


図4-8: 微小フィレット RO. 1mm: 左、RO. 2mm: 右、の場合のミーゼスの相当応力分布図

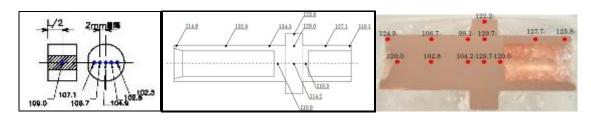
オス端子の挿入時におけるコネクタに発生する応力は、ミーゼスの相当応力で最大 182MPa しか発生せず、引張試験の結果から 0.2%耐力は 304MPa であるので、弾性変形内で あることがわかる。よって、本設計において通常使用では破壊する可能性は低いことがわかった。

【2】硬さ試験

各スリット前ブランクの成形状況と母材での状態とを比較するために、硬さ試験を行った。試験条件を表 4-1 に、測定箇所を図 4-9 にそれぞれ示す。硬さ試験を行った結果、母材の硬さは平均で 105.5HV であり、断面の箇所によらずほぼ一定であった。孔の側面部やツバ部は、 $127.1\sim134.5HV$ となっており、母材から $2\sim3$ 割程度硬くなっている。これはこれらの部分が加工によって大きく材料の移動が起こることにより、加工硬化していると考えられる。

表4-1:硬さ試験条件

試験機	株式会社ミツトヨマイクロビッカース硬さ試験機 HM-200
試験荷重	0.2 kg f
荷重保持時間	15 秒



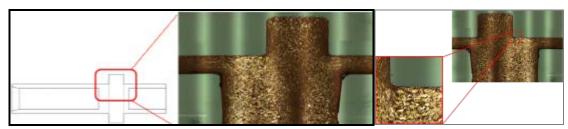
↑母材 ↑せん断スリット前ブランク ↑押し出しスリット前ブランク 図4-9:各、硬さ試験箇所と試験結果[HV0.2]

【3】ファイバーフロー観察

加工によって成形品の組織に欠陥や折れ込みがないかの確認のため、ファイバーフロー 観察を行った。ファイバーフロー観察を行うためのエッチング条件を表4-2、各観察結 果を図4-10に示す。

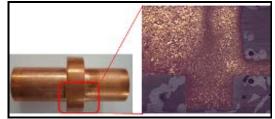
表4-2:エッチング条件

腐	食	液	塩化銅(Ⅲ)+塩酸+エタノール
保	持 時	間	3 分



↑せん断スリット前ブランク

↑せん断スリット工法品



↑押し出しスリット前ブランク

↑押し出しスリット工法品

図4-10:各、ファイバーフロー観察結果

ファイバーフロー観察の結果、折れ込みや欠陥はなく材料が良く流れていることが分か った。以上の結果から、せん断スリット前ブランク、押し出しスリット前ブランク、せん 断スリット工法品は良好と考えられる。しかし、押し出しスリット工法品のスリット断面 において、ツバ部スリット側表面に巻き込みとみられる箇所が観察された。(図4-10、 青丸箇所)これはスリット成形の工程において出来たと思われる。

【4】残留応力測定

充電コネクタの挿抜時には、製品の内外表面に引張および圧縮応力が繰り返し負荷され るため疲労破壊が懸念される。製品の耐久性に関わる疲労強度への影響因子としてせん断 品、押し出し品、従来品の残留応力を測定、比較検討を行った。(図4-11)



↑せん断工法品



↑押し出し工法品



↑従来品

図4-11:各測定結果(単位 MPa)

カット前における外表面の残留応力値は圧縮であり絶対値の大きさは、押し出し品くせん断品く従来品、となっている。カットサンプルの測定結果から、内表面における残留応力は、押し出し品とせん断品では引張応力、従来品では圧縮応力となった。なお、内外表面の残留応力差は押し出し品くせん断品く従来品となっている。開発加工品、特に押し出し品については、内外表面の残留応力差が小さく、素材全体が均一に変形して成形されていることを示している。挿抜時には製品の内外表面に引張、圧縮の繰り返し負荷が作用することを考えると、内外表面の残留応力差が小さい開発加工製品は従来品に比べて耐久性や強度信頼性が高いと考えられる。

【5】大電流通電による品質評価試験

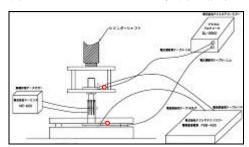
大電流通電時に気を付けることは通電による「発熱」である。「発熱」は電子部品本体の 固有抵抗による発熱、及び接点における接触抵抗値による発熱の 2 種類があり、発熱・固 有抵抗値・接触抵抗値の 3 つの数値からコネクタの特性確認を行うため、開発品、従来品 をそれぞれ、オス端子と組み合わせ、実験を行った。

開発コネクタへのめっき処理を行った。従来品についてはめっき処理済み。それぞれのめっき後内径寸法に合わせ、嵌め合い寸法の異なる2種類のオス端子を製作。(図4-12)



↑:開発品+N1 ↑:開発品+N2 ↑:従来品+N1 ↑:従来品+N2 図 4-12:めっき処置を行った充電コネクタと製作した各オス端子

長時間通電(=発熱状態の継続)により、発熱、接触抵抗値の変化の確認を行った。 測定方法を図4-13に、測定結果を表4-3示す。



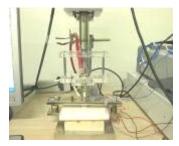


図4-13:電流通電時の発熱変化及び接触抵抗値測定の様子。

表4-3:長時間通電時の接触抵抗値と温度変化の様子

開発品	50)A	10	0A	125A		125A		開	<u>発</u> 品	50A		100A		125A	
N1	接触抵抗	温度上昇	接触抵抗	温度上昇	接触抵抗	温度上昇	N		接触抵抗	温度上昇	接触抵抗	温度上昇	接触抵抗	温度上昇		
Sec	単位:mΩ	単位:deg	単位:mΩ	単位:deg	単位:mΩ	単位:deg	Se	ec	単位:mΩ	単位:deg	単位:mΩ	単位:deg	単位:mΩ	単位:deg		
2	0.140	1.22	0.144	1.78	0.134	2.07		2	0.185	0.40	0.180	1.05	0.184	0.85		
900	0.138	2.60	0.143	12.82	0.134	18.88		900	0.181	3.50	0.165	12.48	0.177	21.70		
1800	0.137	3.20	<u>0</u> .14 <u>1</u>	14.60	0.128	22.05		1800	0.180	4.27	0.160	14.63	0.166	24.52		
<u>27</u> 00	<u>0.1</u> 36	<u>3.</u> 20	0 <u>.14</u> 0	15 <u>.7</u> 5	0.126	<u>22.70</u>		2 <u>70</u> 0	0. <u>17</u> 8	<u>4.70</u>	0.1 <u>57</u>	14. <u>75</u>	<u>0</u> .162	<u>2</u> 4.5 <u>5</u>		
3600	0.135	2.92	0.139	15.55	0.125	22.73		3600	0.177	4.80	0.155	15.30	0.160	24.92		
	01100		0.100	10.00	0.120	22.70	_				0.100		0.1.00			
)A		0A		5A	従		50			0A		5A		
<u>従来品</u> N1)A	10		12		従 N	<u>来品_</u>	50			0A	12			
<u>従来品</u>	5(DA 温度上昇	10 接触抵抗	0A 温度上昇	12 接触抵抗	5A	Ν	<u>来</u> 品 2	50	A 温度上昇	10 接触抵抗	0A 温度上昇	12	5A 温度上昇		
<u>従来品</u> N1	5(接触抵抗	DA 温度上昇 単位:deg	10 接触抵抗 単位:mΩ	0A 温度上昇 単位:deg	12 接触抵抗 単位:mΩ	5A 温度上昇 単位:deg	Ν	<u>来</u> 品 2	50 接触抵抗	A 温度上昇	10 接触抵抗	0A 温度上昇 単位:deg	12 接触抵抗	5A 温度上昇		
<u>従来品</u> N1	50 接触抵抗 単位: mΩ <u>0.1</u> 32	DA 温度上昇 単位: deg <u>2.0</u> 8	10 接触抵抗 単位:mΩ	0A 温度上昇 単位:deg 1 <u>.3</u> 8	12 接触抵抗 単位:mΩ 0.1 <u>37</u>	5A 温度上昇 単位: deg 1. <u>52</u>	Ν	<u>来</u> 品 2	50 接触抵抗 単位:mΩ)A 温度上昇 単位∶deg 0 <u>.02</u>	10 接触抵抗 単位:mΩ 0.1 <u>30</u>	0A 温度上昇 単位:deg 1. <u>22</u>	12 接触抵抗 単位: mΩ <u>0</u> .131	5A 温度上昇 単位:deg 1.4 <u>0</u>		
<u>従来品</u> N1 Sec	50 接触抵抗 単位:mΩ 0.132 0.128	DA 温度上昇 単位: deg <u>2.</u> 08 4.43	10 接触抵抗 単位:mΩ 0.128	0A 温度上昇 単位: deg 1 <u>.3</u> 8 13.38	12 接触抵抗 単位:mΩ 0.1 <u>37</u> 0.139	5A 温度上昇 単位: deg 1. <u>52</u> 20.88	Ν	<u>来</u> 品2 ec2	50 接触抵抗 単位:mΩ 0. <u>12</u> 7)A 温度上昇 単位∶deg 0 <u>0</u> 2 2.85	10 接触抵抗 単位:mΩ 0.1 <u>30</u>	0A 温度上昇 単位: deg 1. <u>22</u> 11.73	12 接触抵抗 単位: mΩ 	5A 温度上昇 単位:deg 1.4 <u>0</u> 18.80		
<u>従来品</u> N1 Sec 2 900	50 接触抵抗 単位:mΩ 0.132 0.128 0.127	DA 温度上昇 単位: deg <u>2.</u> 08 4.43 5.00	10 接触抵抗 単位:mΩ 0.128 0.127	0A 温度上昇 単位: deg 1 <u>.3</u> 8 13.38 15 <u>.4</u> 3	12 接触抵抗 単位:mΩ 0.137 0.139 0.138	5A 温度上昇 単位: deg 1. <u>52</u> 20.88 24.23	Ν	<u>来</u> 品2 ec2 900	50 接触抵抗 単位:mΩ 0. <u>12</u> 7 0.127	DA 温度上昇 単位: deg 0.02 2.85 3.05	10 接触抵抗 単位:mΩ 0.1 <u>30</u> 0.125	0A 温度上昇 単位: deg 1.22 11.73 13.43	12 接触抵抗 単位: mΩ _0.131 _0.129 _0.126	5A 温度上昇 単位: deg 1.4 <u>0</u> 1 <u>8.8</u> 0 21.53		

接触抵抗値の測定にあたっては、図4-13赤丸間の電圧降下を測定し、通電電流置より抵抗値に換算。そこから、それぞれオス端子、充電コネクタの固有抵抗値 ($0.4 \text{m}\Omega$) を差し引き、算出した。発熱について、1 時間通電後、いずれの組み合わせでも、常温からプラス $21\sim25$ \mathbb{C} の上昇であった。また熱平衡に入った時間は通電開始後約 40 分。接触抵抗値については、1 時間通電中いずれの組合せでも電流値の違いによる変化はほぼ無かった。以上の 2 点の結果から発熱による接触抵抗値の変動も無いことが確認できた。

次に挿抜試験を行い、耐久回数による挿入荷重、接触抵抗値の測定を行った。いずれの 製品も耐久試験後の方が大きい挿入荷重が測定された。ただし、開発品と従来品を比較す ると開発品の方が比較的小さい傾向にある。挿入荷重には大きく変化が出たが、接触抵抗 値についてはほぼ変動無し。変形・傷による接触抵抗値の増加は、3万回程度では発生しな いと考えられる。

各試験結果より、開発品が良い結果であった。いずれの組み合わせにしても、長時間連続通電による発熱・接触抵抗値の影響は顕著には表れなかった。また、耐久による接触抵抗値の上昇は顕著にはみられない。本体発熱・接触抵抗値については、今回と同材質・同等寸法であれば問題はないと判断する。

第5章 本論:研究開発の実施内容と成果 (iv):量産化技術の開発

5-1 量産システムの開発

冷間鍛造によるスリット形成を自動運転で行える量産ラインの検討・開発を行った。各 装置の設計開発にあたっては、鍛造装置とのシンクロナイズ、各装置同士の干渉を考慮し 設計開発を行った。

【1】量産ライン構成の検討

スリット前ブランクから、冷間鍛造によりスリット形成を自動運転で行えるよう、量産

ラインの検討を行った。検討した構成図を図5-1に示す。

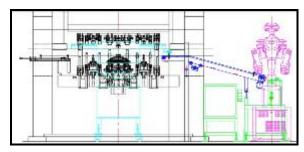


図5-1:量産化ライン検討

検討した構成図を基に、ロボットの最適な動作範囲や、各装置の干渉などを考慮し、複合的に各装置の詳細設計を行った。

①搬送装置

各ワークを次工程へ搬送し、スリット形成を自動で行えるよう、搬送装置の仕様検討を 行った。開発した量産対応金型の金型間ピッチ、パスラインを考慮し、位置決めと着脱を 簡単に行えるよう検討した。また、搬送時のエラーを想定し、金型破損などのトラブルに ならないよう、対応策を検討した。

②排出装置

プレス工程内のパスライン高さ、双腕ロボットの最適な動作範囲(高さ)を考慮し、排出装置の設計を行った。排出装置は2条タイミングベルトとし、双腕ロボットピック位置まで一気に搬送することで、ワークの停滞や重複を回避する設計とした。

③移送・整列用双腕ロボット

排出装置や検査付帯装置が双腕ロボットの動作範囲内となる様、最適なレイアウトの検討を行った。また、排出装置から検査装置、検査装置から整列・梱包箱へワークを搬送するための専用チャックの設計を行った。

④自動検査装置、検査付帯装置

自動検査装置は、事前にワーク測定位置と、カメラ・照明等の位置関係を検証し、容易に調整が可能な設計とした。また、検査付帯装置は検査精度向上のため、シリンダーにてワークのセンタリングを行える設計とした。

【2】搬入·据付作業

開発した各装置の搬入・据付を行った。(図5-2)設計開発した各装置を搬入作業終了後、エア・電気の接続を行い、接続装置の設置や配線処理等、各装置のI/Oの繋ぎ込みなど、電気的な接続対応を行った。













図5-2:搬入から据付の様子

【2】量産化システムの開発

鍛造装置に組み込んだ量産対応金型と組み合わせて、量産化システムの開発を行った。 それぞれの状態では既に調整、動作確認済みであり、各タイミングや干渉などに留意し、 量産化システムとして、動作、性能確認を行った。サーボプレス機の特徴を生かし、スク ラップシュートや搬送装置は、動作ごとに動作終了信号を出力し、それを確認後スライ ドが可動するようなモーションを設計した。これにより、誤作動や動作不良による、金 型破損を未然に防げるシステムを開発した。

また、排出装置、双腕ロボット、自動検査装置は、それぞれの装置での動作終了を出力 し、それを確認後、次の動作がスタートする設計とした。鍛造装置、搬送装置も含め、全 ての装置が電気的に対応することで、ライン内でのワークの停滞や重複を回避し、不慮の トラブルによる金型・システムの破損のリスクの軽減を図った。

5-2 量産システムの評価

開発した量産システムにて、充電コネクタの連続的な加工を行ったところ、サイクルタイム: 9.6 秒/個と、開発目標を達成できた。また、材料歩留率についても、95%を達成でき、本研究開発目標、製造コスト 260 円以下/個を達成することが出来、開発した量産システムは良好であることが確認できた。また、加工した充電コネクタは、各寸法ともに公差内であり、スリット長さ Cpk=1.50 を確保することが出来た。しかし、スリット内径に関しては、Cpk=1.26 と目標である 1.33 を確保することができなかった。これは、自動検査装置での測定値が、寸法公差内ではあるものの、偏りがあったことが原因と考える。今後の作りこみにおいて、狙い値を公差中央値に近づけることで、Cpk>1.33 確保を目指す。

開発した量産システムと、開発した量産システムを使用し、冷間鍛造にて加工した充電

コネクタを図5-3に示す。





図5-3:開発した量産システムと冷間鍛造により加工した充電コネクタ

第6章 全体総括

3年間の活動を振り返り、まず先に御指導・御協力頂いた、茨城県中小企業振興公社様、 茨城大学大学院様、茨城県工業技術センター様、アドバイザー様の皆様に感謝いたします。 本研究開発により、以下の成果を得た。

- ・冷間鍛造によるスリット形成のための鍛造装置(サーボプレス機)の開発。
- ・鍛造装置用の3工程専用金型を製作し、「せん断スリット工法」を確立させ、形状・寸 法にバラツキの無い、コネクタ端子を製作できた。
- ・パーツフォーマーによる、せん断スリット前ブランク、押し出しスリット前ブランク の加工技術の開発。
- ・鍛造装置に加え、搬送装置、排出装置、自動検査装置、移送・整列用双腕ロボットを導入し、ブランク→充電コネクタまで、量産一貫ラインを構築することが出来た。
- ・この成果により、せん断スリット工法を融合させて、材料歩留率 、サイクルタイム 、 製造コストの当初目標値を全て達成した。
- ・加工品の品質評価法を研究開発し、応力解析、残留応力測定、通電接触抵抗・温度上昇、 挿抜耐久試験等を実施した。何れも従来品以上の性能を有していることが確認出来た。
- ・技術ハードルの高い「押し出しスリット工法」に果敢に挑戦し、パンチ改良等のトライを重ねることにより、完成度ほぼ90%の製品コネクタを製作出来た。引き続きパンチ寸法・形状、パンチ~型間のクリアランス、ワーク潤滑法、鍛造装置の多段押し等の研究開発を推進しスリット長さの安定化を図る。

3年間の活動を総合して考えてみると、目標値として掲げた目標に対し、せん断スリット工法での実績において、材料歩留率 95 %、サイクルタイム 9.6 秒/個、製造コスト 260円以下 /個と当初目標を達成でき、ほぼ活動計画に沿った活動が出来た。また、プラスの成果として、「弊社に蓄積できた成果が多々あった。」と判断している。この成果は、御指導、御助言を頂いた皆様から頂いた成果であり、弊社独自では体験できない結果と判断している。例として挙げれば、

- ·弊社従業員の人材育成。
- ・他業種との交流、意見交換等により、弊社の不足している分野の強化。
- ・研究機関 等との繋がり強化による、信頼性評価試験方法の確立。
- ・顧客情報、技術動向情報入手による対応策の立案手順。

など、多くの成果、ノウハウが蓄積できた。

幸いにも事業化に関しては、川下企業数社より、見積もり依頼を頂いている。また、その中でも有力メーカーであり、自動車メーカー Tier 1の川下企業には、多くのサンプルを納入し評価頂いており、先行サンプルは「全項目で良好な結果」との判定を得て、類似コネクタの事業化についても好感触を得ているのが現状である。

今後、川下企業とのコミュニケーションを密にして、積極的な営業活動により、事業化を実現させて行きたい。関係者皆さまの引き続きのご支援、ご協力を切にお願いする次第です。

参考文献

『排出ガス・燃費関連法規制動向』、DENSO、2007年2月15日発行